

BOŻENA DEBSKA, MAGDALENA BANACH-SZOTT, EWA ROSA, JAROSŁAW PAKUŁA

Katedra Chemii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

WPŁYW ZANIECZYSZCZENIA GLEB WYBRANYMI WWA NA SKŁAD FRAKCYJNY MATERII ORGANICZNEJ

THE EFFECT OF SOIL POLLUTION BY SELECTED PAHs ON THE FRACTIONAL COMPOSITION OF ORGANIC MATTER

Abstract: The aim of the paper was to determine the effect of soil pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on the content and share of carbon from humic acids, fulvic acids and humin. The study was carried out on soil samples (*Luvisols, Phaeozems, Haplic Arenosols, Fluvisols*) representative of the Kujawsko-Pomorskie Region, collected from areas exposed to, as well as protected from, direct contamination by PAHs. Soil samples were polluted by selected PAHs (fluorene, anthracene, pyrene and chrysene) at an amount corresponding to 10 mg PAHs/kg. PAH-polluted soil samples were incubated for 120, 180 and 360 days at a temperature of 20–25°C and fixed moisture (50% field water capacity). The content and share of carbon from humic acids, fulvic acids and humin were determined in the soil samples prior to and after incubation. The research demonstrated that the fractional composition is soil-type-specific, and can be modified by introducing selected PAHs.

Słowa kluczowe: gleby, WWA, skład frakcyjny próchnicy

Key words: soils, PAHs, fractional composition of humus

WSTĘP

W ostatnich latach można zauważyć wzrost poziomu zanieczyszczeń środowiska przez związki z grupy trwałych zanieczyszczeń organicznych. Charakterystyczną cechą tych związków jest duża toksyczność, trwałość i zdolność do bioakumulacji. W grupie organicznych zanieczyszczeń znajdują się m.in.: dioksyny, pestycydy oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Koncentracja tych związków w glebie zależy od właściwości gleb, a zwłaszcza od zawartości materii organicznej [Maliszewska-Kordybach 1993]. W komunikacie Komisji Europejskiej do Rady Europejskiej, Parlamentu Europejskiego, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów [COM 2002] sformułowano osiem głównych zagrożeń dla gleb na terenie Unii Europejskiej, wśród nich spadek zawartości materii organicznej i skażenie gleby. Zwrócono szczególną uwagę na rolę materii organicznej w podtrzymaniu kluczowych funkcji gleby oraz zawartość węgla, jako głównego składnika materii organicznej. Stwierdzono również, że występowanie w glebie związków organicznych, w tym WWA, o stę-

żeniu przekraczającym pewne poziomy, może przyczynić się do degradacji gleby.

Trwałe zanieczyszczenia organiczne, do których zalicza się także WWA, mogą ulegać w glebie różnym przemianom. Do przemian tych zalicza się procesy sprzyjające ich kumulacji, polegające na wiązaniu przez materię organiczną na drodze sorpcji oraz wbudowywanie w struktury materii organicznej, a także procesy rozkładu do form pośrednich, które mogą być związane przez materię organiczną [Oleszczuk 2004]. Bardzo ważnym czynnikiem w procesach sorpcji WWA przez substancję organiczną, oprócz ogólnej zawartości materii organicznej, jest jej skład jakościowy [Weissenfelts i in. 1992; Barančiková, Gergelova 1995; Maliszewska-Kordybach 1995; Chiou 1989].

WWA, jako związki niepolarne i hydrofobowe, adsorbowane są w różnym stopniu na huminach oraz kwasach huminowych i kwasach fulwowych [Maliszewska-Kordybach 1993; Lebkowska 1996; Kosinkiewicz, Mokrzycka 1988; Yang i in. 2010]. Kwasy huminowe hamują przemieszczanie się WWA, natomiast kwasy fulwowe przyspieszają ten proces [Petruzelli i in. 2002]. Dodatkowo, na sorpcję tych związków

ków przez glebową substancję organiczną, może wpływać stopień aromatyczności kwasów huminowych [Barančiková, Gergelova 1995]. Gleby zasobne w substancję organiczną odznaczają się wyższą zawartością WWA [Jones i in. 1989; Maliszewska-Kordybach 1998]. Sorpcja hydrofobowych zanieczyszczeń, przez substancję organiczną gleby, istotnie wpływa na ich rolę i przemieszczanie w środowisku glebowym [Pignatello, Xing 1996].

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu zanieczyszczeń gleb wybranymi WWA na zawartość i udział węgla kwasów huminowych, kwasów fulwowych oraz humin.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania zrealizowano w oparciu o próbki z poziomów próchnicznych gleb, reprezentatywnych dla Regionu Kujawsko-Pomorskiego, pobrane z terenów narażonych i nienarażonych na bezpośrednie zanieczyszczenia WWA. Wykaz próbek gleb i ich podstawowe właściwości przedstawiono w tabeli 1.

Próbki gleb o masie 0,5 kg zanieczyszczono roztworem zawierającym fluoren, antracen, piren i chryzen w ilości odpowiadającej 10 mg WWA·kg⁻¹. Jako rozpuszczalnik wymienionych WWA zastosowano dichlorometan. Zanieczyszczone WWA próbki gleb inkubowano 120, 180 i 360 dni w temperaturze 20–25°C i w stałej wilgotności – 50% PPW. Po upływie określonego czasu inkubacji likwidowano całe próby. Inkubację prowadzono w 3 powtórzeniach dla każdego terminu poboru próbek do badań.

W próbkach gleb niezanieczyszczonych dodatkowo WWA (próbki oznaczone symbolem W) oraz zanieczyszczonych, po 120, 180 i 360 dniach inkubacji oznaczono:

– zawartość węgla związków organicznych (Corg), analizatorem Vario Max CNS firmy Elementar (Niemcy);

– skład frakcyjny metodą Schnitzera wyodrębniając frakcje węgla:

C_{deka} – węgiel w roztworach po dekalcytacji,

C_{kh+kf} – węgiel w roztworach zawierających kwasy huminowe i fulwowe,

C_{kf} – węgiel kwasów fulwowych w roztworach, po wytrąceniu kwasów huminowych.

Zawartość węgla organicznego w poszczególnych frakcjach oznaczano analizatorem TOCN Formacs firmy Skalar (Breda, Holandia).

C_{kh} – węgiel kwasów huminowych obliczono z różnicy:

$$C_{kh} = C_{kh+kf} - C_{kf}$$

Skład frakcyjny wyrażono w mg·kg⁻¹ s.m. próbkę gleby i jako procentowy udział poszczególnych frakcji w puli Corg.

Udział węgla frakcji humin – C_{hum} obliczono, odejmując od 100% sumę udziałów oznaczonych frakcji.

W tabeli 2 przedstawiono wartości średnie z powtórzeń. Istotność różnic oznaczanych parametrów w czasie inkubacji wyznaczono testem Duncana, przy użyciu programu statystycznego Statistica MS.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zawartość Corg, w próbkach gleb niezanieczyszczonych dodatkowo WWA, wynosiła od 5,72 (gleba rdzawa – 8W) do 25,37 g·kg⁻¹ – czarna ziemia (2W, tab. 2). Zanieczyszczenie gleb fluorenem, chryzenem, antracem i pirenem na ogół nie spowodowało istotnych zmian zawartości Corg w analizowanych próbkach gleb (tab. 2).

TABELA 1. Typy gleby i miejsce pobrania próbek, wartości pH oraz skład granulometryczny badanych gleb
TABLE 1. Soil types and sampling localities, values of pH and grain size composition of the soils

Nr próby Sample	Gleba Soil	Miejscowość Locality	pH w H ₂ O pH in H ₂ O	Procentowy udział poszczególnych frakcji Percentage share of respective fractions [mm]		
				2–0,05	0,05–0,002	>0,002
1W*	Czarna ziemia Phaeozems	Kruś liwiec	6,1	69	20	11
2W*	Czarna ziemia Phaeozems	Kruś liwiec	5,9	67	20	13
3W*	Gleba płowa Luvisols	Bielawy	7,1	82	18	0
4W**	Gleba płowa Luvisols	Bielawy	6,7	84	11	5
5W**	Gleba płowa Luvisols	Orlinek	5,9	75	19	6
6W**	Czarna ziemia Phaeozems	Orlinek	6,3	73	16	11
7W*	Gleba płowa Luvisols	Ślesin	6,3	64	26	10
8W**	Gleba rdzawa Haplic Brunic Arenosols	Fordon	6,4	93	4	3
9W**	Mada lekka Fluvisols	Rutki	6,3	82	12	6

Objaśnienia – Explanations: * gleba narażona na bezpośrednie działanie WWA – soil exposed to the threat of PAHs pollution, ** gleba nienarażona na bezpośrednie działanie WWA – soil not exposed to the threat of PAHs pollution.

TABELA 2. Zawartość i udział poszczególnych frakcji węgla organicznego w próbkach gleb niezanieczyszczonych i zanieczyszczonych WWA

TABLE 2. Content and share of specific fraction of organic carbon in the samples of soil non-polluted and polluted with PAHs

Nr próby Sample	C _{org} g·kg ⁻¹	C _{deka} mg·kg ⁻¹	C _{kh}	C _{kf}	C _{kh} :C _{kf}	C _{deka} % C _{org}	C _{kh}	C _{kf}	C _{humim}
Czarna ziemia Phaeozems (Kruszowice)									
1W*	16,37ab	1470	5108	2562	1,99d	9,0b	31,20c	15,65a	44,17a
1-120**	16,89ab	1190	3313	2834	1,17a	7,0a	19,62a	16,78b	56,56c
1-180	18,18c	1350	3828	2952	1,30b	7,4a	21,06ab	16,24ab	55,28c
1-360	17,24bc	1290	4195	2785	1,51c	7,5a	24,33b	16,15ab	52,03b
Czarna ziemia Phaeozems (Kruszowice)									
2W	25,37a	1061	7523	3977	1,89c	4,2a	29,65c	15,68a	50,49a
2-120	25,02a	1390	6388	3932	1,62ab	5,6b	25,53b	15,72a	53,20b
2-180	23,94a	1450	6294	3676	1,71b	6,1b	26,29b	15,36a	52,30b
2-360	25,46a	1600	5891	3999	1,47a	6,3b	23,14a	15,71a	54,87b
Gleba płowa Luvisols (Bielawy)									
3W	12,80c	1254	3906	2094	1,86c	9,8a	30,51c	16,36a	43,33a
3-120	10,70ab	1070	2500	1917	1,30a	10,0a	23,36a	17,92b	48,72b
3-180	11,90bc	1085	3067	1883	1,63b	9,1a	25,78a	15,82a	49,29b
3-360	10,70ab	1106	2998	1972	1,52b	10,3a	28,02ab	18,43b	43,21a
Gleba płowa Luvisols (Bielawy)									
4W	6,63a	650,0	2543	1657	1,54b	9,8ab	38,36b	24,99a	26,85a
4-120	7,20a	649,0	2530	1860	1,36a	9,0a	35,13a	25,84a	30,01b
4-180	6,52a	657,0	2307	1693	1,36a	10,1b	35,38a	25,97a	28,57ab
4-360	7,30a	671,0	2480	1860	1,33a	9,2ab	33,97a	25,48a	31,36b
Gleba płowa Luvisols (Orlinek)									
5W	11,74a	1022	3424	2906	1,18a	8,7a	29,16ab	24,76a	37,38c
5-120	11,55a	1007	3312	2952	1,12a	8,7a	28,67a	25,56a	37,05c
5-180	11,65a	1058	3572	3008	1,19ab	9,1ab	30,66b	25,82a	34,44b
5-360	11,19a	1100	3704	2896	1,28b	9,8b	33,10c	25,88a	31,19a
Czarna ziemia Phaeozems (Orlinek)									
6W	21,23a	1675	6997	4673	1,50a	7,9b	32,96a	22,01a	37,14a
6-120	21,06a	1456	7064	4336	1,63a	6,9a	33,54a	20,59a	38,96a
6-180	20,19a	1460	6322	3998	1,58a	7,2ab	31,31a	19,80a	41,65b
6-360	22,29a	1455	7257	4273	1,70a	6,5a	32,56a	19,17a	41,75b
Gleba płowa Luvisols (Ślesin)									
7W	13,77a	807,7	4835	2645	1,83a	5,9a	35,12a	19,21a	39,81b
7-120	13,15a	887,0	4795	2455	1,95a	6,7a	36,46ab	18,67a	38,12b
7-180	13,07a	805,0	5074	2271	2,23b	6,2a	38,82b	17,38a	37,64b
7-360	13,02a	827,0	5584	2303	2,43b	6,4a	42,89c	17,69a	33,07a
Gleba rdzawa Haplic Arenosols (Fordon)									
8W	5,72a	350,0	1753	1537	1,14a	6,1a	30,64a	26,88a	36,36b
8-120	5,45a	375,0	1870	1470	1,27b	6,9a	34,30b	26,98a	31,83a
8-180	6,04a	412,0	1976	1672	1,18a	6,8a	32,71ab	27,68a	32,78a
8-360	5,90a	388,0	1871	1651	1,13a	6,6a	31,71a	27,98a	33,73a
Mada lekka Fluvisols (Rutki)									
9W	8,17a	1360	1895	2005	0,94a	16,6b	23,19A	24,54a	35,62ab
9-120	7,55a	940,0	1812	1938	0,93a	12,5a	24,00A	25,67a	37,88ab
9-180	8,00a	987,0	2165	2005	1,08a	12,3a	27,06B	25,07a	35,54a
9-360	8,44a	1057	2009	2083	0,96a	12,5a	23,80A	24,68a	38,99b

Objaśnienia – Explanations: * nr próbki z literą W oznacza glebę niezanieczyszczoną dodatkowo WWA, ** 120, 180, 360 – liczba dni inkubacji próbek gleb zanieczyszczonych dodatkowo WWA; * no. samples with letter W means soil non-polluted additionally with PAHs, ** 120, 180, 360 – the numbers days of incubation in the samples of soil polluted additionally with PAHs, ***a, b, c – różnica istotna przy $\alpha = 0,05$; values significantly different at the 5% level.

Jednym z możliwych sposobów oceny jakości humusu (próchnicy) w glebach są badania jego składu frakcyjnego [Gonet 1989]. Udział frakcji kwasów humusowych charakteryzuje jakość materii organicznej. Z badań Maliszewskiej-Kordybach [1993], Chiou [1989], Yang i in. [2010] wynika, że skład jakościowy próchnicy jest bardzo ważnym wskaźnikiem zdolności detoksykacyjnych gleb względem WWA. Największą zdolnością sorpcyjną w stosunku do WWA charakteryzują się huminy, znacznie mniejszą kwasy huminowe, a najslabszą kwasy fulwowe.

Zawartość węgla w roztworach po dekalcytacji determinowana była przede wszystkim typem gleby. Najwięcej C_{deka} zawierały ekstrakty otrzymane z próbek czarnej ziemi pobranych w miejscowości Orlinek (próbka nr 6), najmniejszą ilością C_{deka} cechowały się próbki gleby rdzawej (nr 8). Należy jednak podkreślić, że zawartość frakcji C_{deka} nie jest skorelowana z jej udziałem. Największym udziałem frakcji węgla w roztworach po dekalcytacji charakteryzowały się próbki mady lekkiej, a najmniejszym – czarnej ziemi pobranej w miejscowości Kruśliwiec (nr 2). Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 2, udział frakcji węgla w roztworach po dekalcytacji, w pewnym zakresie może być modyfikowany w konsekwencji zanieczyszczenia gleb wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA). W próbkach oznaczonych numerami 1, 6 i 9 stwierdzono spadek udziału C_{deka} po wprowadzeniu do gleb WWA, w próbkach gleby płowej pobranej w miejscowościach Bielawy i Ślesin (nr: 3, 4, 7) oraz w glebie rdzawej (nr 8) nie odnotowano istotnych zmian C_{deka} w czasie inkubacji, a w pozostałych wariantach (nr próbek 2, 5) wystąpił nieznaczny wzrost udziału tej frakcji węgla.

Zawartość frakcji węgla kwasów huminowych (C_{kh}) w próbkach gleb wyjściowych – niezanieczyszczonych dodatkowo WWA – była najwyższa w próbkach czarnej ziemi (wariant 2W) i wynosiła $7523 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a najniższa w próbkach gleby rdzawej – $1753 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Udział frakcji węgla kwasów huminowych – analogicznie jak dla frakcji C_{deka} – nie był skorelowany z jego zawartością. Najwyższym udziałem tej frakcji węgla charakteryzowała się gleba płowa pobrana w miejscowości Ślesin (średni udział C_{kh} dla próbek zanieczyszczonych i niezanieczyszczonych wynosił 38,32%; próbka nr 7), a najniższym czarna ziemia (średnio 24,05%; próbka nr 1). Wprowadzenie WWA do gleb spowodowało istotny spadek udziału C_{kh} w próbkach nr 1 i 2 (czarna ziemia) oraz 3 i 4 (gleba płowa). Istotnie wyższym udziałem omawianej frakcji węgla w porównaniu do próbek gleb niezanieczyszczonych cechowały się gleby płowe pobrane w miejscowości Orlinek – po 360 dniach inkubacji (5–360, tab. 2) oraz w miejscowości Ślesin po

180 i 360 dniach inkubacji (7–180 i 7–360, tab. 2). Dla pozostałych gleb nie stwierdzono istotnych różnic udziału węgla we frakcji kwasów huminowych pomiędzy glebami niezanieczyszczonymi dodatkowo WWA i zanieczyszczonymi WWA.

Zawartość węgla frakcji kwasów fulwowych (C_{kf}) w analizowanych próbkach gleb mieściła się w zakresie od $1582,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (średnia dla próbek niezanieczyszczonych i zanieczyszczonych dodatkowo WWA gleby rdzawej pobranych w miejscowości Fordon) do $4320 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (czarna ziemia, Orlinek). Natomiast, najwyższym udziałem tej frakcji węgla, charakteryzowały się próbki gleby rdzawej, a najniższym czarnej ziemi pobranej w miejscowości Kruśliwiec (nr 1 i 2, tab. 2). Należy podkreślić, że niezależnie od typu gleby, udział węgla frakcji kwasów fulwowych po zanieczyszczeniu gleb WWA nie uległ istotnym zmianom. Odnotowano wprawdzie nieznaczne zmiany zawartości i udziału frakcji C_{kf} ale otrzymane różnice na ogół nie były istotne statystycznie.

Na podstawie udziału węgla w roztworach po dekalcytacji oraz w roztworach zawierających kwasy huminowe i fulwowe, obliczono udział węgla stanowiącego frakcję humin. Najwyższym, wynoszącym ponad 50% udziałem C_{hum} , charakteryzowały się próbki czarnej ziemi pobrane w miejscowości Kruśliwiec (tab. 2). Udział tej frakcji węgla w próbkach pozostałych gleb mieścił się w zakresie średnio od 29,20 (gleba płowa, próbka nr 4) do 46,14% (gleba płowa, próbka nr 3). Uważa się, że huminy cechują się większą zdolnością sorpcyjną w stosunku do niepolarnych związków organicznych niż kwasy fulwowe, czy też kwasy huminowe [Maliszewska-Kordybach 1993, 1998; Yang i in. 2010]. Należy podkreślić, że wśród badanych próbek gleb w wielu przypadkach obserwowano przyrost frakcji węgla humin, natomiast istotny spadek zanotowano jedynie w próbkach gleby rdzawej (nr 8) oraz gleb płowych, pobranych w miejscowości Orlinek i Ślesin.

Jednym z najważniejszych parametrów, będących wskaźnikiem „jakości humusu”, jest stosunek zawartości węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych ($C_{kh}:C_{kf}$). Powszechnie przyjmuje się, że większe wartości tego stosunku są charakterystyczne dla gleb żyzniejszych [Gonet 1989]. Gleby, które pobrano do badań, charakteryzowały się na ogół przewagą frakcji węgla kwasów huminowych nad fulwowymi. Wartości stosunku $C_{kh}:C_{kf}$ dla większości gleb mieściły się więc w zakresie 1,12–2,43 (tab. 2), jedynie dla mady lekkiej (próbki oznaczone symbolem 9, tab. 2) otrzymano wartości $C_{kh}:C_{kf}$ na ogół niższe od jedności. Zanieczyszczenie gleb wybranymi WWA w próbkach gleby rdzawej i mady lekkiej nie spowodowało istotnych zmian wartości stosunku $C_{kh}:C_{kf}$. Dla

czarnej ziemi pobranej w miejscowości Kruśliwiec oraz gleby płowej pobranej w miejscowości Biela- wy, odnotowano spadek wartości omawianego stosunku po wprowadzeniu WWA do próbek tych gleb. Istotnie wyższe wartości parametru $C_{kh}:C_{kf}$ odnoto- wano dla próbek gleby płowej pobranych w miejsco- wości Orlinek po 360 dniach inkubacji i miejscowo- ści Ślesin po 180 i 360 dniach inkubacji.

Jak wynika z doniesień literaturowych [Licznar i in. 2000] obniżanie wartości stosunku $C_{kh}:C_{kf}$ może świadczyć o wzrastającym stopniu degradacji gleb. Procesy degradacji nie sprzyjają procesom humifika- cji materii organicznej i jej transformacji w wysoko- cząsteczkowe substancje humusowe. Na podstawie przedstawionych w niniejszej pracy wyników składu frakcyjnego, w tym wartości stosunku $C_{kh}:C_{kf}$ nie można w sposób jednoznaczny stwierdzić, że dopływ WWA do gleby może prowadzić do znacznych zmian jakościowych materii organicznych, a w konsekwen- cji do ich degradacji. W omawianym doświadczeniu, gleby zanieczyszczono WWA w ilości $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, taka zawartość WWA klasyfikuje je do gleb silnie zanie- czyszczonych i odpowiada zawartości tych związków, notowanej w glebach z terenów rolniczych położonych na obszarach zanieczyszczonych, narażonych na bez- pośrednie oddziaływanie WWA. Jednak trzeba mieć na uwadze fakt, że w przeprowadzonych badaniach zanieczyszczenie gleb tak dużą dawką WWA miało charakter jednorazowy. Stąd należy przypuszczać, że stałe, długotrwałe oddziaływanie WWA w dużych daw- kach, może doprowadzić do znaczących zmian składu jakościowego materii organicznej gleb.

WNIOSKI

1. Skład frakcyjny materii organicznej jest cechą cha- rakterystyczną dla danego typu gleby. Najwyższym udziałem frakcji humin i najniższym frakcji kwasów fulwowych charakteryzowała się czarna zie- mia pobrana w miejscowości Kruśliwiec. Najwięk- szym udziałem węgla frakcji kwasów huminowych – niezależnie od stopnia zanieczyszczenia – zawie- rała gleba płowa pobrana w miejscowości Ślesin.
2. Zanieczyszczenia gleb WWA (antracen, piren, chry- zen, fluoren) w dawce $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ mogą przyczy- niać się do zmian składu ilościowego materii orga- nicznej. Jednak intensywność i kierunek zmian w znacznym stopniu są determinowane typem gleby.
3. W niniejszym doświadczeniu obserwowano zjawis- ka niekorzystne, prowadzące do obniżenia „jako- ści gleb”, m.in.: zmniejszenie udziału węgla w roz- tworach po dekalcytacji i węgla frakcji kwasów huminowych oraz spadek wartości stosunku $C_{kh}:C_{kf}$

Praca została wykonana w ramach projektu ba- dawczego N N310 3123 34, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

LITERATURA

- BARANČIKOVÁ C., GERGELOWA Z. 1995. Soil parameters influencing of PCBs sorption. [In:] Contaminated Soil '95. W.J. den Brink, R. Bosman, F. Arendt (eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London: 357–358.
- CHIOU C.T. 1989. Theoretical considerations of the partition uptake of nonionic organic compounds by soil organic matter. [In:] Reactions and movement of organic chemicals in soils. B.L. Sawhney, K. Brown (eds.). SSA Special Publica- tion 22, Madison: 1–29.
- COM 2002. 179. Komunikat Komisji Europejskiej do Rady Europejskiej, Parlamentu Europejskiego, Komitetu Ekonomicz- no-Społecznego oraz Komitetu Regionów – w Kierunku Stra- tegii Ochrony Gleby, wersja końcowa, Bruksela.
- GONET S.S. 1989. Właściwości kwasów huminowych gleb o zróżnicowanym nawożeniu. Rozprawa Nr 33, ATR Bydgoszcz. ss. 50.
- JONES K.C., STRATFORD J.A., WATERHOUSE K.S., VOGT N.B. 1989. Organic contaminants in Welsh soils: polynuclear aromatic hydrocarbons. *Environ. Sci. Technol.* **23**, 5: 540–550.
- KOSINKIEWICZ B., MOKRZYCKA M. 1988. Transformacja i wykorzystanie antracenu przez mikroorganizmy glebowe. *Arch. Ochr. Środ.* **12**: 77–88.
- LICZNAK S.E., LABAZ B., LICZNAK M. 2000. Właściwości fizykochemiczne i skład frakcyjny związków próchnicznych w różnie degradowanych ekosystemach kosodrzewiny *Pinus mugo*. *Opera Corcontica* **37**: 486–491.
- ŁEBKOWSKA M. 1996. Wykorzystanie mikroorganizmów do biodegradacji produktów naftowych w środowisku glebowym. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna.* **3**: 117–118.
- MALISZEWSKA-KORDYBACH B. 1993. Trwałość wielopier- ścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebie. Roz- prawa habilitacyjna. Wydawnictwo IUNG, Puławy. ss. 80
- MALISZEWSKA-KORDYBACH B. 1995. The persistence of carcinogenic micropollutant – pyrene – in soils of different organic matter content. *Arch. Ochr. Środ.* **2**: 183–190.
- MALISZEWSKA-KORDYBACH B. 1998. Zależność między właściwościami gleb i zawartością w nich WWA, na przykła- dzie gleb z terenu użytków rolnych w województwie lubel- skim. *Arch. Ochr. Środ.* **24**, 3: 79–91.
- OLESZCZUK P. 2004. Pozostałość związana (PZ) tworzona w glebach przez trwałe zanieczyszczenia organiczne. *Post. Mi- krobiol.* **43**, 2: 189–204.
- PETRUZZELLI L., CELI L., CIGNETTI A., MARSAN F.A. 2002. Influence of soil organic matter on the leaching of po- lycyclic aromatic hydrocarbons in soil. *J. Environ. Sci. He- alth B* **37**, 3: 187–199.
- PIGNATELLO J.J., XING B. 1996. Mechanisms of slow sorp- tion of organic chemicals to natural particles. *Environ. Sci. Technol.* **30**, 1: 1–11.
- WEISSENFELTS W.D., KLEWER H.J., LANGHOFF J. 1992. Adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by soil particles: influence on biodegradability and biotoxicity. *Appl. Microb. Biotechnol.* **36**, 5: 689–696.
- YANG Y., ZHANG N., XUE M. AND TAO S. 2010: Impact of soil organic matter on the distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils. *Environ. Pollution* **158**, 2170–2174.

Prof. dr hab. inż. Bożena Dębska
Katedra Chemii Środowiska,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
ul. Bernardyńska 6, 85-029 Bydgoszcz
e-mail: debska@utp.edu.pl